



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND  
  
DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 100 09 142 A 1

⑯ Int. Cl. 7:  
**C 04 B 35/00**  
B 01 J 35/02  
B 28 B 1/08  
E 04 C 2/04

DE 100 09 142 A 1

⑯ Aktenzeichen: 100 09 142.3  
⑯ Anmeldetag: 26. 2. 2000  
⑯ Offenlegungstag: 6. 9. 2001

⑯ Anmelder:  
Fauner, Gerhard, Prof.Dr., 82166 Gräfelfing, DE;  
Wendker, Hasso, Dipl.-Ing., 45657 Recklinghausen,  
DE  
  
⑯ Vertreter:  
Kohler Schmid + Partner, 70565 Stuttgart

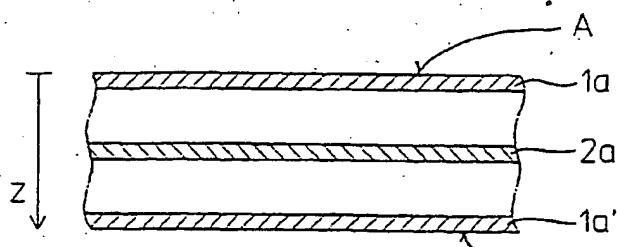
⑯ Erfinder:  
Fauner, Gerhard, Prof. Dr.-Ing., 82166 Gräfelfing,  
DE; Wendker, Hasso, Dipl.-Ing. Architekt, 45657  
Recklinghausen, DE  
  
⑯ Entgegenhaltungen:  
Derwent Ref.-Nr. 58059 K/24 zu SU 946625;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Formkörper mit Nanofeinpertikeln in gezielter Schichtstruktur

⑯ Ein Formkörper, aufgebaut aus Partikeln unterschiedlicher Größe, wobei mindestens eine Teilmenge der Partikel Nanofein-Feststoffpartikel mit Durchmessern < 1 µm sind, ist dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper eine durch Anwendung von Vibratoren und/oder Schockwellen vor dem endgültigen Verfestigen des Formkörpers gezielt erzeugte Schichtstruktur aufweist, und daß die Schichtstruktur mindestens eine Schicht (1a, 1a', 2a) enthält, in der die Nanofein-Feststoffpartikel gegenüber der übrigen Schichtstruktur in einer höheren Konzentration angereichert sind. Damit kann mittels einfacher Maßnahmen und mit technisch leicht realisierbaren Mitteln erreicht werden, daß die spezifischen Eigenschaften der Nanofein-Feststoffpartikel gezielt und wesentlich erhöht zur Wirkung kommen, und zwar räumlich genau an den Stellen des Formkörpers, wo die besonders benötigt werden.



DE 100 09 142 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Formkörper, aufgebaut aus Partikeln unterschiedlicher Größe, wobei mindestens eine Teilmenge der Partikel Nanofein-Feststoffpartikel mit Durchmessern < 1 µm sind, sowie eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung dieses Formkörpers.

Derartige Formkörper mit nanofeinen Bestandteilen sind unter anderem im Bereich der Keramikbauteile bekannt und beispielsweise in "Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der keramischen Werkstoffe" von D. Vollath, anlässlich des 2. Symposiums Keramik, Technische Akademie Esslingen, 1996 beschrieben.

Die verbreitetsten Verfahren zur Herstellung von Formkörpern aus nanoskaligen Keramikpulvern sind Trockenpressen und Schlickergießen. Dabei muß zur Verhinderung von Preßfehlern mit vergleichsweise geringen Brücken gearbeitet werden. Bzw. hat sich ein zweistufiger Preßprozeß, der jedoch auch die Verdichtung der nanofeinen Teilchen nicht in ausreichendem Umfang bewirkt. So schreibt Vollath: "Wegen der geringen Teichengröße und der damit verbundenen großen Oberfläche sintern Preßlinge aus nanoskaligen Keramikpulvern besonders gut," und, weiter: "Da sich aber Nanopulver nicht so gut wie konventionelle Pulver verdichten lassen, müssen wesentlich größere Porenvolumina aus dem Werkstück nach außen transportiert werden."

Neben dem Mikrowellensintern, mit dem zwar das Sintern beschleunigt werden kann, das jedoch nur für elektrisch nicht leitende Festkörper anzuwenden ist, werden noch eine Reihe von Methoden genannt, mit denen der Sinterprozeß gestartet bzw. gesteuert werden kann.

Diese Methoden sind für die technische Breitenanwendung beispielsweise in der Baukeramik und im Betonbau noch zu aufwendig, um der Nanowerkstofftechnik Eingang zu verschaffen.

Nachteilig bei den bekannten Formkörpern ist die im wesentlichen homogene Verteilung der Nanofein-Feststoffpartikel über den gesamten Formkörper. Dadurch, daß die Nanofein-Feststoffpartikel nicht planmäßig und gezielt, sondern nur zufällig, in der Regel gleichmäßig verteilt sind, kommen ihre vorteilhaften spezifischen Wirkungen nach außen hin kaum zum Tragen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, einen Formkörper der eingangs beschriebenen Art vorzustellen, bei dem durch möglichst einfache Maßnahmen und mit technisch leicht realisierbaren Mitteln die spezifischen Eigenschaften der Nanofein-Feststoffpartikel gezielt und wesentlich erhöht zur Wirkung kommen, und zwar räumlich genau an den Stellen des Formkörpers, wo sie besonders benötigt werden.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe auf überraschend einfache, aber wirkungsvolle Art und Weise dadurch gelöst, daß der Formkörper eine durch Anwendung von Vibratoren und/oder Schockwellen vor dem endgültigen Verfestigen des Formkörpers gezielt erzeugte Schichtstruktur aufweist, und daß die Schichtstruktur mindestens eine Schicht enthält, in der die Nanofein-Feststoffpartikel gegenüber der übrigen Schichtstruktur in einer höheren Konzentration angereichert sind.

Durch die Energiezufuhr über genau auf den beabsichtigten Effekt abgestimmte Vibratoren und Schockwellen, z. B. in einem Frequenzbereich von 5 bis 15000 Hz können größere Verdichtungen, aber auch extreme Auflockerung (Beispiel: Auflockerung von Wüstensand gegen Panzerangriffe) der nanofeinen Partikel und anderer fein- und grob-pulviger Bestandteile einer Mischung erreicht werden. Es ist aber möglich, z. B. nanofine und andere Partikel durch ihre Schwerkraft oder entgegen ihrer Schwerkraft, in einer

bestimmten Schicht an der Oberfläche oder im Inneren eines Formkörpers anzureichern. Dadurch kann die Erfindung auch zur Gewinnung nanofeiner Partikel aus heterogenen Stoffmischungen, z. B. aus traditionell gewonnenem Mahlgut benutzt werden.

In diesem Falle muß dafür gesorgt werden, daß durch die Vibratoren und/oder Schockwellen die nanofeinen Partikel sich an der Oberfläche des Gemisches sammeln oder sogar sich im Schutzgas oder im Vakuum darüber absondern, von wo sie beispielsweise abgesaugt werden können. So kann in günstigen Fällen auf komplizierte chemische Gewinnungsprozesse verzichtet werden.

Der erfindungsgemäße Formkörper kann in den verschiedensten Geometrien hergestellt werden. Insbesondere für die Anwendung zu Hoch- und/oder Tiefbauzwecken kann der erfindungsgemäße Formkörper in Form einer Platte ausgebildet sein. Der erfindungsgemäße Formkörper muß aber nicht notwendigerweise eine geschlossene Fläche darstellen, sondern kann bei Bedarf auch als Rahmen ausgebildet sein. Ebenso kann der erfindungsgemäße Formkörper Aussparungen für Fenster, Türen, Solarzellen, Lampen usw. aufweisen. Bei weiteren Ausführungsformen der Erfindung ist der Formkörper als Stütz- und/oder Tragekonstruktion für Hochbau-Elemente, insbesondere für Fassadenplatten ausgebildet. Möglich sind aber auch ganz andere Formgebungen, beispielsweise für den Einsatz des erfindungsgemäßen Formkörpers als Teil eines Lagers, etwa einer Lagerschale.

Der Stand der Technik erfüllt die tribologischen Anforderungen an Lagerwerkstoffe für Gleitlager derzeit nicht zufriedenstellend. Die überwiegend angewandten Sinterwerkstoffe z. B. auf Basis von Kupfer-Legierungen enthalten oft Festschmiersstoffzusätze von MoS<sub>2</sub>, Blei, Grafit u. a.. Dies verbessert zwar die Reib- und Verschleißeigenschaften, jedoch wird die mechanische Festigkeit des Lagerkörpers beeinträchtigt. Zudem sind die schmierenden wie auch die das tragende (metallische) Gerüst bildenden Partikel nicht ausreichend homogen verteilt. Dadurch entstehen immer wieder entweder tribologische Schwachstellen, an denen stärkerer Verschleiß, Fressen, Pittings (grübchenförmige Ausbrechungen) durch unerwünschte punktuelle Verschweißung mit dem Antagonisten-Material infolge des Betriebsdruckes) und Zungenbildung oder Ermüdungsbrüche an mechanischen Schwachstellen.

Denn versucht man seit längerem dadurch vorzubeugen, daß man auf eine z. B. metallische hochfeste Tragschicht, die den eigentlichen Lagerkörper darstellt, eine dünne tribologisch optimierte Verschleißschicht aus Festschmierstoffen, z. T. mit Öl- oder Schmierfunkavernen angereichert, aufbringt. Die DIN EN 2064 vom Juli 1992 beschreibt hierzu "Gelenklager aus nichtrostendem Stahl mit selbstschmierender Beschichtung". Die Problematik entsteht hier bei der Befestigung dieser Schicht auf dem Lagerkörper. Sie erfolgt, wie aus der DIN zu entnehmen ist, meistens durch Kleben, unter Inkaufnahme von Nachteilen wie die begrenzte Wärmebeständigkeit der Klebschicht. Dies gilt auch für die Befestigung etwaiger nanofeiner Gleitschichten auf diesem Wege.

Mit der vorliegenden Erfindung ist es möglich, Lagerkörper stofflich beanspruchungssadäquat aufzubauen: z. B. ein tragender Stützkörper aus Metall, der in der Verschleißzone in eine tribologische Schicht von nanofeinen, zusammengeinterten Partikeln aus speziellen Gleitwerkstoffen übergeht. Diese Schicht weist ein Höchstmaß an Homogenität auf, so daß die oben beschriebenen punktuellen Schwachstellen entfallen, und sie muß nicht mehr extra auf dem Stützkörper befestigt werden.

Besonders bevorzugt ist eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Formkörpers, bei der mindestens eine

Schicht, in der die Nanofein-Feststoffpartikel in höherer Konzentration angereichert sind (im folgenden "Nanofeinschicht" genannt), an mindestens einer Außenfläche des Formkörpers angeordnet ist. Damit lassen sich die besonderen Eigenschaften der mit Nanofein-Feststoffpartikeln angereicherten Schicht, wie z. B. erheblich höhere Härte, Festigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Abrieb an der Oberfläche des Formkörpers ausnutzen, beispielsweise für den Einsatz des Formkörpers als verschleißbarer, reibungsmindernder Antagonist eines bewegten Lagerteiles.

Des weiteren kann eine solche Funktionsschicht an der Außenseite des Formkörpers auch als Versiegelung, Oberflächenabdichtung und Schutz gegen Eindringen von Feuchtigkeit in den Formkörper eingesetzt werden. Daneben ist aber noch eine Vielzahl anderer Funktionen der Außenschicht unter Ausnutzung spezieller Eigenschaften der Nanofein-Feststoffpartikel denkbar, beispielsweise die Herstellung einer besonders flexiblen oder dehnfähigen oder glatten (eventuell sogar reflektierenden) oder gut wärmeleitenden oder elektrisch leitfähigen oder magnetisierten oder temperaturbeständigen oder chemisch inerten oder reaktiven Oberfläche etc..

Vorteilhaft kann eine Weiterbildung dieser Ausführungsform sein, bei der die Außenschicht mit Nanofein-Feststoffpartikeln eine besonders geringe Rauhigkeit, vorzugsweise < 1 µm, insbesondere Spiegelglätte aufweist.

Durch Spiegelglätte kann wegen der optischen Qualität der Anwendungsbereich von Sichtbeton erheblich ausgeweitet werden und in Zukunft auch Teilbereiche erfassen, die bisher dem Einsatz besonders glatter Ziermaterialien wie Glas, Marmor, Mosaikplatten usw. vorbehalten waren.

Spiegelglätte bringt u. a. auch den Vorteil mit sich, daß Strahlung jeder Art besser reflektiert wird. So kann z. B. spiegelglatter Beton im Gebäudeinneren durch verbesserte Wärmerückstrahlung (IR-Spektrum) eine Reduzierung des Wärmerverlustes, sowie bei Außenwänden in heißen Klimazonen eine bessere Kühlung im Gebäudeinneren verursachen.

Darüber hinaus bedeutet Spiegelglätte bei Beton eine verbesserte Abdichtung gegen Feuchte sowie ein verbessertes Abfließen von Wasser.

Nanofine Partikel, die kleiner sind als die Wellenlänge des sichtbaren Lichts, ergeben eingebettet in eine transparente Matrix, durchsichtige Bauteile, (siehe z. B. "Innovationschub aus dem Nanokosmos", VDI-Technologiezentrum, Abt. Zukünftige Technologien, 1998, S. 45).

Vorteilhaft kann auch eine Weiterbildung dieser Ausführungsform sein, bei der die Außenschicht mit Nanofein-Feststoffpartikeln Muster und/oder Profilierungen, wie beispielsweise Erhebungen, Vertiefungen, Schuppen, Spitzen oder Krater aufweist.

Sie können je nach Bedarf, als Abtropfkanten für Feuchtropfen und damit auch zur Steigerung der elektrischen Isolereigenschaften wegen der damit verbundenen Unterbrechung von Kriechströmen ausgebildet sein. Es wäre denkbar, damit Betonisolationskörper als Alternative zu den bekannten baumkuchenartigen Isolatoren von Umspannwerken herzustellen.

Vorteilhaft kann auch eine Weiterbildung sein, bei der die Außenschicht mit Nanofein-Feststoffpartikeln reibungs- und/oder verschleißmindernde Zusätze, insbesondere Schnier- und Gleitstoffe enthält.

Die Zusätze können auch selbst Nanofeinpartikel, insbesondere nanofine Festschnierstoffe wie MoS<sub>2</sub>, Graphit, Blei, Weißmetall enthalten.

Dabei können die nanofinen Zusätze in der Schicht an der Außenfläche des Formkörpers homogen verteilt sein.

Vorteilhaft kann auch eine Weiterbildung sein, bei der die

Nanofein-Feststoffpartikel in der Außenschicht eine so hohe Verdichtung aufweisen, daß ein Eindringen von Feuchtigkeit in den Formkörper verhindert, vorzugsweise verhindert wird.

5 Vorteilhaft kann schließlich auch eine Weiterbildung sein, bei der die Nanofein-Feststoffpartikel für Partikel außerhalb des Formkörpers als chemische Reaktionspartner und/oder als Reaktionsbeschleuniger und/oder als Katalysator wirken.

10 Alternativ oder zusätzlich kann bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform die Nanofeinschicht im Inneren des Formkörpers angeordnet sein. Hierdurch lassen sich die speziellen Eigenschaften der Nanofein-Feststoffpartikel, wie z. B. besonders hohe mechanische Festigkeit und/oder

15 Flexibilität und/oder Leitfähigkeit in gezielten Bereichen innerhalb des Formkörpers einbringen.

Bei einer weiteren Ausführungsform des erfundungsgemäßen Formkörpers weist die Nanofeinschicht eine im wesentlichen homogene Verteilung der Nanofein-Feststoffpartikel innerhalb der Schicht auf.

Bei Ausführungsformen kann die Nanofeinschicht auch in einer Richtung senkrecht zur Schicht eine Verteilung der Nanofein-Feststoffpartikel mit einem ansteigenden und/oder abfallenden Konzentrationsgradienten aufweisen.

20 Bevorzugt ist auch eine Ausführungsform des erfundungsgemäßen Formkörpers, bei der die Nanofeinschicht eine schuppen- oder wellenförmige Struktur aufweist.

Andererseits kann auch die Nanofeinschicht klumpenartige oder clusterartige Ballungen von Nanofein-Feststoffpartikeln aufweisen.

25 Des weiteren kann die Nanofeinschicht auch Hohlräume, insbesondere Kammern und/oder Kanäle aufweisen.

Des weiteren kann die Nanofeinschicht eine von den Nanofein-Feststoffpartikeln gebildete Skelettsstruktur aufweisen.

30 Des weiteren kann die Nanofeinschicht eine höhere Festigkeit aufweisen als die übrigen Bereiche der Schichtstruktur.

Des weiteren kann die Nanofeinschicht eine höhere Steifigkeit, insbesondere einen größeren Elastizitäts-Modul aufweisen als die übrigen Bereiche der Schichtstruktur.

35 Des weiteren kann die Nanofeinschicht eine höhere Flexibilität, insbesondere eine geringere Sprödigkeit aufweisen als die übrigen Bereiche der Schichtstruktur.

40 Des weiteren kann die Nanofeinschicht einen Rißstoppzusatz, insbesondere aus Nanofein-Feststoffpartikeln enthalten.

45 Des weiteren kann die Nanofeinschicht einen Zusatz, insbesondere aus Nanofein-Feststoffpartikeln enthalten, der die elektrische und/oder thermische Leitfähigkeit der Schicht gegenüber den übrigen Bereichen der Schichtstruktur erhöht oder erniedrigt.

50 Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wirken die Nanofein-Feststoffpartikel untereinander als chemische Reaktionspartner.

Bei weiteren Ausführungsformen können die Nanofein-Feststoffpartikel für weitere Partikel innerhalb des Formkörpers als chemische Reaktionspartner und/oder als Reaktionsbeschleuniger und/oder als Katalysator wirken.

55 Vorteilhaft kann auch eine Ausführungsform der Erfindung sein, bei der der Formkörper ein Betonkörper, insbesondere eine Betonplatte für den Hoch-, Tief-, Gehäuse- oder Fahrzeugbau ist.

60 Vorteilhaft kann des weiteren eine Ausführungsform der Erfindung sein, bei der der Formkörper ein Keramikkörper, insbesondere eine Keramikplatte für das Bauwesen, den Maschinenbau, den Fahrzeugbau, die Luft- und Raumfahrttechnik oder die Elektrotechnik ist.

Vorteilhaft kann des weiteren eine Ausführungsform der Erfindung sein, bei der der Formkörper eine Lagerschale, eine Lagerplatte oder einen Lagerkäfig, insbesondere für Gleitlager oder Stützlager im Maschinenbau, Wasserbau, Brückenbau oder Hochbauwesen bildet.

Vorteilhaft kann des weiteren eine Ausführungsform der Erfindung sein, bei der der Formkörper Partikel mit Durchmessern  $> 1 \mu\text{m}$  enthält, die aus Zement, Silikaten oder Keramikkomponenten bestehen.

Vorteilhaft kann des weiteren eine Ausführungsform der Erfindung sein, bei der der Formkörper Partikel mit Durchmessern  $> 1 \mu\text{m}$  enthält, die aus Metallen und/oder Metalloiden und/oder deren Verbindungen bestehen.

Vorteilhaft kann des weiteren eine Ausführungsform der Erfindung sein, bei der der Formkörper Partikel mit Durchmessern  $> 1 \mu\text{m}$  enthält, die aus organischen oder anorganischen Kunststoffen bestehen.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung können die Nanofein-Feststoffpartikel aus Zement, Silikaten, Keramikkomponenten, Metallen, Metalloiden, Verbindungen derselben, organischen und/oder anorganischen Kunststoffe bestehen.

In den Rahmen der vorliegenden Erfindung fällt auch eine Vorrichtung zur Herstellung eines Formkörpers der oben beschriebenen Art, die sich dadurch auszeichnet, daß ein Behälter zur Aufnahme der den Formkörper bildenden Partikel vorgesehen ist, an den eine Einrichtung zur Erzeugung von Vibrationen und/oder Schockwellen innerhalb der im Behälter aufgenommenen Partikel angeschlossen ist, wobei die Einrichtung so ausgebildet ist, daß die Vibrationen und/oder Schockwellen eine gezielt vorherbestimmbare Schichtstruktur der aufgenommenen Partikel erzeugen kann, und mindestens eine Schicht mit erhöhter Konzentration an Nanofein-Feststoffpartikeln innerhalb der Schichtstruktur entsteht, und daß Mittel zum Verfestigen der entstandenen Schichtstruktur durch Verbindung der Partikel vorgesehen sind.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung enthält die Einrichtung zur Erzeugung von Vibrationen und/oder Schockwellen mindestens einen Impulsgenerator, der vorzugsweise hydraulisch und/oder elektrisch und/oder mechanisch, beispielsweise mit Hilfe von Unwuchten angetriebenen ist.

Eine vorteilhafte Weiterbildung dieser Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, daß der Impulsgenerator Vibrationen und/oder Schockwellen von einstellbarer Frequenz und/oder Amplitude und/oder einstellbare zeitliche Beschleunigungsverläufe der Partikel erzeugen kann.

Vorteilhaft kann auch eine Ausführungsform der Erfindung sein, bei der die Einrichtung zur Erzeugung von Vibrationen und/oder Schockwellen mindestens eine Vorrichtung zum Erzeugen von elektromagnetischen Wechselfeldern innerhalb des Behälters umfaßt.

Des weiteren kann bei Ausführungsformen die Einrichtung zur Erzeugung von Vibrationen und/oder Schockwellen mindestens eine Vorrichtung zum Hervorrufen von Ultraschall-Wellen innerhalb des Behälters umfassen.

Weiter kann es von Vorteil sein, wenn der Behälter evakuerbar und/oder mit Schutzgas befüllbar ist.

Auch kann bei Ausführungsformen der Behälter eine Absaugvorrichtung für Feststoffe aufweisen.

Vorteilhaft kann der Behälter an seiner Innenseite so ausgebildet sein, daß er als Form für den zu erzeugenden Formkörper dient.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann eine Zuführung, insbesondere eine Injektionsvorrichtung und/oder Sprühdüsen zur Einleitung von Fluiden und/oder Pulvern in den Behälter vorgesehen sein.

Des weiteren kann bei Ausführungsformen der Behälter eine Vorrichtung zum Kühlen der Partikel aufweisen.

Auch können vorteilhaft die Mittel zum Verfestigen der entstandenen Schichtstruktur eine Vorrichtung zum Aufheizen der Partikel im Behälter aufweisen, insbesondere eine elektrische Heizung, beispielsweise eine Heizwendel oder eine Induktionsheizung, und/oder eine Strahlungs- und/oder HF-Heizung.

Schließlich umfassen bei einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung die Mittel zum Verfestigen der entstandenen Schichtstruktur eine mechanische Presse zum Verdichten und Verbinden der Partikel im Behälter.

In den Rahmen der vorliegenden Erfindung fällt auch ein Verfahren zur Herstellung des oben beschriebenen Formkörpers, das sich dadurch auszeichnet, daß Partikel unterschiedlicher Größe in einen Behälter gefüllt werden, wobei mindestens eine Teilmenge der Partikel Nanofein-Feststoffpartikel mit Durchmessern  $< 1 \mu\text{m}$  sind, daß durch Anwendung von Vibrationen und/oder Schockwellen eine vorgegebene Schichtstruktur innerhalb der Partikel im Behälter erzeugt wird, wobei die Schichtstruktur mindestens eine Schicht enthält, in der die Nanofein-Feststoffpartikel gegenüber der übrigen Schichtstruktur in einer höheren Konzentration angesiedelt sind, und daß die erzeugte Schichtstruktur anschließend verfestigt wird.

Bei einer bevorzugten Verfahrensvariante die Behandlung der Partikel bis zum endgültigen Verfestigen des Formkörpers unter Vakuum oder unter Schutzgas.

Vorteilhaft kann auch eine Verfahrensvariante sein, bei der die Verfestigung des Formkörpers mittels Zugabe von Fluiden, insbesondere Durchfeuchtung und/oder Pressen und/oder Erhitzen und/oder Sintern und/oder Fritten und/oder chemischer Reaktion(en) und/oder Ultraschall und/oder UV-Strahlung erfolgt.

Vorteilhaft kann schließlich auch eine Verfahrensvariante sein bei der die Erzeugung der gewünschten Schichtstruktur durch Anwendung computergesteuerter Vibrations- und/oder Schockwellenimpulse auf die Partikel des Formkörpers erfolgt.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter aufgeführten Merkmale erfindungsgemäß jeweils einzeln für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen; sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

Die Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a einen schematisierten Querschnitt durch eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Formkörpers, bei der die Schichtstruktur 3 mit Nanofein-Feststoffpartikeln angereicherte Schichten ("Nanofeinschichten") aufweist, nämlich zwei Außenschichten und eine innenliegende Schicht;

Fig. 1b eine Ausführungsform mit schuppenförmiger Nanofeinschicht an einer Außenfläche des Formkörpers;

Fig. 1c Ausführungsform mit wellenförmiger Nanofeinschicht im Inneren des Formkörpers;

Fig. 1d Ausführungsform mit clustertartigen Ballungen von Nanofein-Feststoffpartikeln in der Nanofeinschicht;

Fig. 1e Ausführungsform mit Hohlräumen in der Nanofeinschicht;

Fig. 2a Konzentrationsverteilung der Nanofein-Partikel in der Schichtstruktur über der Schichttiefe  $z$  von der Ober-

fläche des Formkörpers ins Innere mit einer Nanofeinschicht an der Oberfläche, die eine homogene Verteilung von Nanofeinfeststoffpartikeln aufweist;

Fig. 2b Ausführungsform mit zwei Nanofeinschichten mit homogener Partikelverteilung im Inneren des Formkörpers;

Fig. 3a Ausführungsform mit Nanofeinschicht an der Außenfläche des Formkörpers und Gauss-förmiger Partikelverteilung in der Nanofeinschicht;

Fig. 3b Ausführungsform mit zwei Nanofeinschichten mit Gauss-förmiger Konzentrationsverteilung im Inneren der Schichtstruktur;

Fig. 4a Ausführungsform mit Nanofeinschicht an der Oberfläche mit linear abnehmender Partikelkonzentration;

Fig. 4b Ausführungsform mit zwei Nanofeinschichten im Inneren der Schichtstruktur mit jeweils zu einem Maximum linear ansteigender und wieder linear abfallender Partikelkonzentration;

Fig. 5a einen schematischen Vertikalschnitt durch eine Ausführungsform einer Vorrichtung zur Herstellung des erfindungsgemäßen Formkörpers mit elektrischer Heizvorrichtung;

Fig. 5b Ausführungsform der Vorrichtung mit Sinterpresse; und

Fig. 5c Ausführungsform der Vorrichtung mit evakuiertem Behälter und Sprühdüsen zur Einleitung von Fluiden und/oder Pulvern in den Behälter.

Der erfindungsgemäße Formkörper ist aus Partikeln unterschiedlicher Größe aufgebaut und erhält durch gezielte Anwendung von Vibrationen und/oder Schockwellen vor dem endgültigen Verfestigen eine Schichtstruktur, bei der mindestens eine Schicht vorhanden ist, in welcher Nanofeinfeststoffpartikel gegenüber der übrigen Schichtstruktur in einer höheren Konzentration angereichert sind. Die vielfältigen Vorteile und Einsatzmöglichkeiten einer solchen Schichtstruktur unter gezielter Ausnutzung der Eigenschaften von Nanofeinfeststoffpartikeln sind oben diskutiert. Im Folgenden sollen einige Möglichkeiten der geometrischen Strukturierung im erfindungsgemäßen Formkörper vorgestellt werden:

In den Fig. 1a bis 1e sind jeweils Schnitte durch beispielsweise plattenförmige Körper dargestellt, die in einer z-Richtung mit  $z = 0$  an der Außenfläche A die Schichtstruktur im Inneren des Formkörpers veranschaulichen.

Fig. 1a zeigt eine Schichtstruktur des erfindungsgemäßen Formkörpers, bei der zwei Nanofeinschichten 1a, 1a' an den beiden Außenflächen A, A' und eine Nanofeinschicht 2a im Inneren des Formkörpers angeordnet sind.

Bei der Ausführungsform in Fig. 1b ist eine Nanofeinschicht 1b an der Außenfläche A des Formkörpers angeordnet.

Fig. 1c zeigt eine Situation, bei der im Inneren des Formkörpers eine Nanofeinschicht mit wellenförmiger Struktur vorhanden ist.

Der Formkörper in Fig. 1d weist eine Nanofeinschicht 2d in seinem Inneren auf, bei der klumpenartiger bzw. clusterartige Ballungen von Nanofeinfeststoffpartikeln vorhanden sind.

In Fig. 1e schließlich ist ein Formkörper mit einer in seinem Inneren befindlichen Nanofeinschicht 2e dargestellt, welche Hohlräume bzw. Kammern in ihrem Inneren aufweist.

Es versteht sich, daß die gezeigten und auch andere Geometrien in beliebiger Weise auch gezielt miteinander gemischt werden können, so daß eine Anordnung der Schichtstruktur des Formkörpers entsteht, die ganz bestimmte gewünschte Eigenschaften aufweist.

In den Fig. 2a bis 4b sind mögliche Verteilungen der Na-

nofeinfeststoffpartikel innerhalb der angereichten Nanofeinschichten gezeigt, wobei in den Diagrammen jeweils die Konzentration an Nanofeinfeststoffpartikeln über der von der Oberfläche des Formkörpers in Innere gerichteten z-

Achse dargestellt ist.

In Fig. 2a ist eine Situation dargestellt, bei der die Schichtstruktur eine Nanofeinschicht mit einer homogenen Partikelkonzentration an einer Außenfläche des Formkörpers aufweist.

Fig. 2b zeigt zwei Nanofeinschichten mit jeweils homogener Partikelkonzentration im Inneren des Formkörpers.

In Fig. 3a ist wiederum eine an einer Außenfläche des Formkörpers angeordnete Nanofeinschicht dargestellt, bei der die Konzentration Gauss-förmig verläuft.

In Fig. 3b sind zwei Nanofeinschichten im Inneren des Formkörpers gezeigt, deren Konzentrationsverläufe jeweils einer Gauss-Kurve folgen.

Fig. 4a sieht für eine Schichtstruktur mit Nanofeinschicht an der Außenfläche des Formkörpers, bei der die Partikelkonzentration linear in Richtung auf das Körperinnere abnimmt.

Fig. 4b stellt eine Situation mit zwei Nanofeinschichten im Inneren des Formkörpers dar, bei denen die Konzentration an Nanofeinfeststoffpartikeln bis zu einem Maximum linear zu und dann wieder abnimmt.

Auch hier sind wiederum alle möglichen Mischformen der Konzentration in den Schichten denkbar, die geeignet sind, die gewünschten Eigenschaften des Formkörpers in seinem Endzustand zu erreichen.

Die Fig. 5a bis 5c schließlich stellen schematisch im Vertikalschnitt Vorrichtungen zur Herstellung des erfindungsgemäßen Formkörpers vor, die jeweils einen Behälter 3a, 3b, 3c zur Aufnahme der den Formkörper bildenden Partikel, eine Einrichtung 5 zur Erzeugung von Vibrationen und/oder Schockwellen innerhalb der im Behälter aufgenommenen Partikel zur gezielten Herstellung einer Schichtstruktur 4a, 4b, 4c sowie Mittel 6a, 6b, 6c zum Verfestigen der erzeugten Schichtstruktur aufweisen.

Die Ausführungsform in Fig. 5a weist einen Behälter 3a auf, der als formgebender Schwingboden zur Aufnahme der Schichtstruktur 4a ausgebildet ist. Zur Erzeugung der Schichtstruktur ist eine Einrichtung 5 vorgesehen, die aus mehreren Untereinheiten aufgebaut sein kann, welche die entsprechenden benötigten Vibrationen und/oder Schockwellen erzeugen können.

Insbesondere kann die Einrichtung 5 Impulsgeneratoren enthalten, welche hydraulisch und/oder elektrisch und/oder mechanisch, beispielsweise mit Hilfe von Unwuchten angetrieben sind. Vorzugsweise können die Frequenzen und Amplituden der erzeugten Vibrationen bzw. Wellen sowie die zeitlichen Beschleunigungsverläufe der Partikel im Behälter 3a eingestellt werden.

Die Einrichtung 5 zur Erzeugung von Vibrationen und/oder Schockwellen kann auch Vorrichtungen zum Erzeugen von elektromagnetischen Wechselfeldern innerhalb des Behälters 3a oder eine Vorrichtung zum Hervorrufen von Ultraschallwellen innerhalb des Behälters 3a umfassen.

Die mit Hilfe der Einrichtung 5 erzeugte Schichtstruktur wird bei der Vorrichtung nach Fig. 5a durch Erhitzen mittels einer elektrischen Heizung 6a verfestigt.

Alternativ oder zusätzlich kann aber auch eine Strahlungs- oder Induktions- oder Hochfrequenzheizung vorgesehen sein. Denkbar ist aber auch die Anwendung einer Vorrichtung zum Kühlen der Partikel innerhalb des Behälters 3a.

Im Unterschied zur Vorrichtung nach Fig. 5a weist die Vorrichtung nach Fig. 5b einen Behälter 3b mit darin aufgenommener Schichtstruktur 4b auf, die mittels einer Presse,

insbesondere einer Sinterpresse 6b verfestigt werden kann. Die übrigen bei der Vorrichtung nach Fig. 5 diskutierten Merkmale, insbesondere die Möglichkeiten der Modifikation der Einrichtung 5 können auch hier verwirklicht sein.

Fig. 5c schließlich stellt eine weitere Ausführungsform der erfundungsgemäßen Vorrichtung dar, bei der innerhalb eines geschlossenen und über eine Absaugvorrichtung 7 evakuierbaren Behälters 3c die darin aufgenommene Schichtstruktur 4c über Sprühdüsen 6c gleichmäßig befeuchtet und dadurch zur Verfestigung gebracht werden kann. Alternativ oder zusätzlich können auch Heiz- oder Kühlmöglichkeiten vorgesehen sein. Außerdem können über die Sprühdüsen 6c außer Fluiden auch pulverförmige Stoffe in den Behälter 3c eingeleitet werden.

Aufgrund der Evakuierbarkeit des Behälters 3c über die Absaugvorrichtung 7 und die Möglichkeit der Zuleitung von Fluiden über die Sprühdüsen 6c ist auch eine Behandlung der Schichtstruktur 4c unter Schutzgas möglich.

Im übrigen gilt auch hier wiederum, daß die Merkmale der oben beschriebenen Vorrichtungen, soweit technisch sinnvoll, miteinander sowie mit hier nicht ausdrücklich genannten Merkmalen gemischt werden können, um den Zweck der Vorrichtung im Einzelfall optimal zu erfüllen.

## Patentansprüche

25

1. Formkörper, aufgebaut aus Partikeln unterschiedlicher Größe, wobei mindestens eine Teilmenge der Partikel Nanofein-Feststoffpartikel mit Durchmessern < 1 µm sind, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper eine durch Anwendung von Vibrationen und/oder Schockwellen vor dem endgültigen Verfestigen des Formkörpers gezielt erzeugte Schichtstruktur (4a; 4b; 4c) aufweist, und daß die Schichtstruktur mindestens eine Schicht (1a, 1a', 2a; 1b; 2c; 2d; 2e) enthält, in der die Nanofein-Feststoffpartikel gegenüber der übrigen Schichtstruktur in einer höheren Konzentration angereichert sind.

2. Formkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Schicht (1a, 1a'; 1b), in der die Nanofein-Feststoffpartikel in höherer Konzentration angereichert sind, an mindestens einer Außenfläche (A, A') des Formkörpers angeordnet ist.

3. Formkörper nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Schicht (2a; 2c; 2d; 2e), in der die Nanofein-Feststoffpartikel in höherer Konzentration angereichert sind, im Inneren des Formkörpers angeordnet ist.

4. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Schicht (1a, 1a'; 2a; 2c), in der die Nanofein-Feststoffpartikel in höherer Konzentration angereichert sind, eine im wesentlichen homogene Verteilung der Nanofein-Feststoffpartikel innerhalb der Schicht aufweist.

5. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Schicht (1a, 1a', 2a; 2c), in der die Nanofein-Feststoffpartikel in höherer Konzentration angereichert sind, in einer Richtung senkrecht zur Schicht eine Verteilung der Nanofein-Feststoffpartikel mit einem ansteigenden und/oder abfallenden Konzentrationsgradienten aufweist.

6. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Schicht (1b; 2c), in der die Nanofein-Feststoffpartikel in höherer Konzentration angereichert sind, eine schuppen- oder wellenförmige Struktur aufweist.

7. Formkörper nach einem der vorhergehenden An-

10

sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Schicht (2d), in der die Nanofein-Feststoffpartikel in höherer Konzentration angereichert sind, klumpenartige oder clusterartige Ballungen von Nanofein-Feststoffpartikeln aufweist.

8. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Schicht (2c), in der die Nanofein-Feststoffpartikel in höherer Konzentration angereichert sind, Hohlräume, insbesondere Kammern und/oder Kanäle aufweist.

9. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Schicht (1a, 1a', 2a; 2c; 2e), in der die Nanofein-Feststoffpartikel in höherer Konzentration angereichert sind, eine von den Nanofein-Feststoffpartikeln gebildete Skelettsstruktur aufweist.

10. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Schicht (1a, 1a', 2a; 1b; 2c; 2d; 2e), in der die Nanofein-Feststoffpartikel in höherer Konzentration angereichert sind, eine höhere Festigkeit aufweist als die übrigen Bereiche der Schichtstruktur.

11. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Schicht (1a, 1a', 2a; 1b; 2c; 2d; 2e), in der die Nanofein-Feststoffpartikel in höherer Konzentration angereichert sind, eine höhere Steifigkeit, insbesondere einen größeren Elastizitäts-Modul aufweist als die übrigen Bereiche der Schichtstruktur.

12. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Schicht (1a, 1a', 2a; 1b; 2c; 2d; 2e), in der die Nanofein-Feststoffpartikel in höherer Konzentration angereichert sind, eine höhere Flexibilität, insbesondere eine geringere Sprödigkeit aufweist als die übrigen Bereiche der Schichtstruktur.

13. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Schicht (1a, 1a', 2a; 1b; 2c; 2d; 2e), in der die Nanofein-Feststoffpartikel in höherer Konzentration angereichert sind, einen Rißstoppzusatz, insbesondere aus Nanofein-Feststoffpartikeln enthält.

14. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Schicht (1a, 1a', 2a; 1b; 2c; 2d; 2e), in der die Nanofein-Feststoffpartikel in höherer Konzentration angereichert sind, einen Zusatz, insbesondere aus Nanofein-Feststoffpartikeln enthält, der die elektrische und/oder thermische Leitfähigkeit der Schicht gegenüber den übrigen Bereichen der Schichtstruktur erhöht oder erniedrigt.

15. Formkörper nach Anspruch 2 und gegebenenfalls einem weiteren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Außenschicht (1a, 1a') mit Nanofein-Feststoffpartikeln eine besonders geringe Rauhtiefe, vorzugsweise < 1 µm, insbesondere Spiegelglätte aufweist.

16. Formkörper nach nach Anspruch 2 und gegebenenfalls einem weiteren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Außenschicht (1b) mit Nanofein-Feststoffpartikeln Muster und/oder Profilierungen, wie beispielsweise Erhebungen, Vertiefungen, Schuppen, Spitzen oder Kräter aufweist.

17. Formkörper nach nach Anspruch 2 und gegebenenfalls einem weiteren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Außenschicht (1a, 1a'; 1b) mit Nanofein-Feststoffpartikeln reibungs- und/oder verschleißmindernde Zusätze, insbesondere

Schmier- und Gleitstoffe enthält.

18. Formkörper nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusätze Nanofeinpartikel, insbesondere nanofeine Festenschmierstoffe wie MoS<sub>2</sub>, Graphit, Blei, Weißmetall enthalten. 5

19. Formkörper nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die nanofeinen Zusätze in der Schicht (1a, 1a'; 1b) an der Außenfläche des Formkörpers homogen verteilt sind.

20. Formkörper nach Anspruch 2 und gegebenenfalls 10 einem weiteren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Nanofein-Feststoffpartikel in der Außenschicht (1a, 1a'; 1b) eine so hohe Verdichtung aufweisen, daß ein Eindringen von Feuchtigkeit in den Formkörper verhindert, vorzugsweise verhindert wird. 15

21. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Nanofein-Feststoffpartikel untereinander als chemische Reaktionspartner wirken. 20

22. Formkörper nach nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Nanofein-Feststoffpartikel für weitere Partikel innerhalb des Formkörpers als chemische Reaktionspartner und/oder als Reaktionsbeschleuniger und/oder als Katalysator 25 wirken.

23. Formkörper nach Anspruch 2 und gegebenenfalls 30 einem weiteren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Nanofein-Feststoffpartikel für Partikel außerhalb des Formkörpers als chemische Reaktionspartner und/oder als Reaktionsbeschleuniger und/oder als Katalysator wirken.

24. Formkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper ein Betonkörper, insbesondere eine Betonplatte für den Hoch-, Tief-, Gebäude- oder Fahrzeugbau ist. 35

25. Formkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper ein Keramikkörper, insbesondere eine Keramikplatte für das Bauwesen, den Maschinenbau, den Fahrzeugbau, die 40 Luft- und Raumfahrttechnik oder die Elektrotechnik ist.

26. Formkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper eine Lagerschale, eine Lagerplatte oder einen Lagerkäfig, insbesondere für Gleitlager oder Stützlager im Maschinenbau, Wasserbau, Brückenbau oder Hochbauwesen bildet. 45

27. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper 50 Partikel mit Durchmessern > 1 µm enthält, die aus Zement, Silikaten oder Keramikkomponenten bestehen. 28. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper Partikel mit Durchmessern > 1 µm enthält, die aus Metallen und/oder Metalloiden und/oder deren Verbindungen bestehen. 55

29. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper Partikel mit Durchmessern > 1 µm enthält, die aus organischen oder anorganischen Kunststoffen bestehen. 60

30. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Nanofein-Feststoffpartikel aus Zement, Silikaten, Keramikkomponenten, Metallen, Metalloiden, Verbindungen derselben, organischen und/oder anorganischen Kunststoffe bestehen. 65

31. Vorrichtung zur Herstellung eines Formkörpers

nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Behälter (3a; 3b; 3c) zur Aufnahme der den Formkörper bildenden Partikel vorgesehen ist, an den eine Einrichtung (5) zur Erzeugung von Vibrationen und/oder Schockwellen innerhalb der im Behälter (3a; 3b; 3c) aufgenommenen Partikel angegeschlossen ist, wobei die Einrichtung so ausgebildet ist, daß die Vibrationen und/oder Schockwellen eine gezielt vorherbestimmbare Schichtstruktur (4a; 4b; 4c) der aufgenommenen Partikel erzeugen kann, und mindestens eine Schicht (1a, 1a'; 2a; 1b; 2c; 2d; 2e) mit erhöhter Konzentration an Nanofein-Feststoffpartikeln innerhalb der Schichtstruktur (4a; 4b; 4c) entsteht, und daß Mittel (6a; 6b; 6c) zum Verfestigen der entstandenen Schichtstruktur (4a; 4b; 4c) durch Verbindung der Partikel vorgesehen sind.

32. Vorrichtung nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (5) zur Erzeugung von Vibrationen und/oder Schockwellen mindestens einen, vorzugsweise hydraulisch und/oder elektrisch und/oder mechanisch, beispielsweise mit Hilfe von Unwuchten angetriebenen, Impulsgenerator enthält.

33. Vorrichtung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß der Impulsgenerator Vibrationen und/oder Schockwellen von einstellbarer Frequenz und/oder Amplitude und/oder einstellbare zeitliche Beschleunigungsverläufe der Partikel erzeugen kann.

34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (5) zur Erzeugung von Vibrationen und/oder Schockwellen mindestens eine Vorrichtung zum Erzeugen von elektromagnetischen Wechselfeldern innerhalb des Behälters umfaßt.

35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Erzeugung (5) von Vibrationen und/oder Schockwellen mindestens eine Vorrichtung zum Hervorrufen von Ultraschall-Wellen innerhalb des Behälters umfaßt.

36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß der Behälter (3c) evakuerbar und/oder mit Schutzgas befüllbar ist.

37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß der Behälter eine Absaugvorrichtung (7) für Feststoffe aufweist.

38. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß der Behälter (3a; 3b; 3c) an seiner Innenseite so ausgebildet ist, daß er als Form für den zu erzeugenden Formkörper dient.

39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 38, dadurch gekennzeichnet, daß eine Zuführung, insbesondere eine Injektionsvorrichtung und/oder Sprühdüsen (6c) zur Einleitung von Fluiden und/oder Pulvern in den Behälter (3c) vorgesehen sind.

40. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß der Behälter (3a; 3b; 3c) eine Vorrichtung zum Kühlen der Partikel aufweist.

41. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 40, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zum Verfestigen der entstandenen Schichtstruktur (4a) eine Vorrichtung (6a) zum Aufheizen der Partikel im Behälter (3a) aufweisen, insbesondere eine elektrische Heizung, beispielsweise eine Heizwendel oder eine Induktionsheizung, und/oder eine Strahlungs- und/oder HF-Heizung.

42. Vorrichtung nach Anspruch 31 bis 41, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zum Verfestigen der entstandenen Schichtstruktur (4b) eine mechanische Presse (6b) zum Verdichten und Verbinden der Partikel im Behälter (3b) umfassen.

43. Verfahren zur Herstellung eines Formkörpers nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Partikel unterschiedlicher Größe in einem Behälter (3a; 3b; 3c) gefüllt werden, wobei mindestens eine Teilmenge der Partikel Nanofein-Feststoffpartikel mit Durchmessern < 1 µm sind, daß durch Anwendung von Vibrationen und/oder Schockwellen eine vorgegebene Schichtstruktur (4a; 4b; 4c) innerhalb der Partikel im Behälter (3a; 3b; 3c) erzeugt wird, wobei die Schichtstruktur (4a; 4b; 4c) mindestens eine Schicht (1a, 1a'; 2a; 1b; 2c; 2d; 2e) enthält, in der die Nanofein-Feststoffpartikel gegenüber der übrigen Schichtstruktur in einer höheren Konzentration angereichert sind, und daß die erzeugte Schichtstruktur (4a; 4b; 4c) anschließend verfestigt wird.

44. Verfahren nach Anspruch 43, dadurch gekennzeichnet, daß die Behandlung der Partikel bis zum endgültigen Verfestigen des Formkörpers unter Vakuum oder unter Schutzgas erfolgt.

45. Verfahren nach Anspruch 43 oder 44, dadurch gekennzeichnet, daß die Verfestigung des Formkörpers mittels Zugabe von Fluiden, insbesondere Durchfeuchtung und/oder Pressen und/oder Erhitzen und/oder Sintern und/oder Fritten und/oder chemischer Reaktion(en) und/oder Ultraschall und/oder UV-Strahlung erfolgt.

46. Verfahren nach einem der Ansprüche 43 bis 45, dadurch gekennzeichnet, daß die Erzeugung der gewünschten Schichtstruktur (4a; 4b; 4c) durch Anwendung computergesteuerter Vibrations- und/oder Schockwellenimpulse auf die Partikel des Formkörpers erfolgt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

**- Leerseite -**

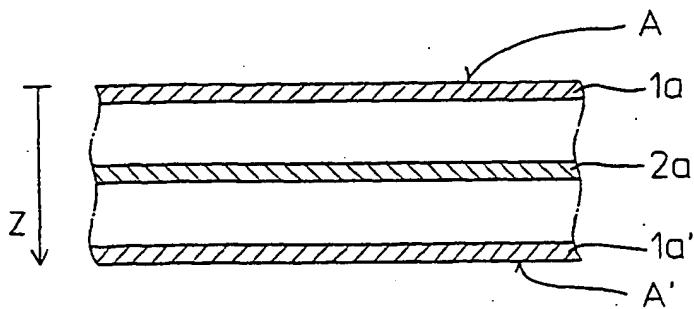


Fig. 1a

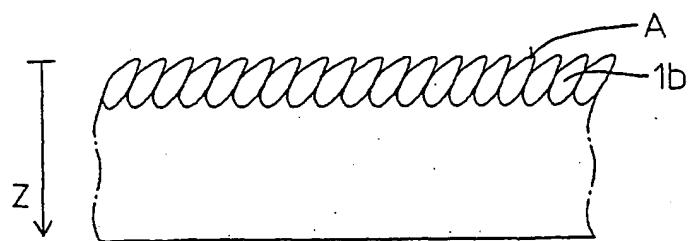


Fig. 1b

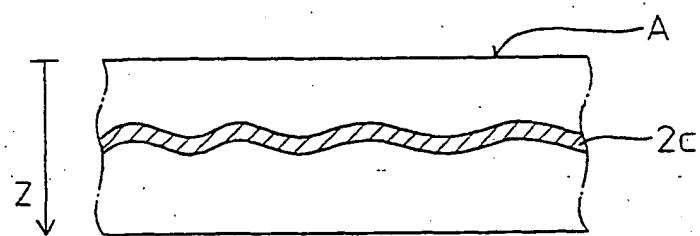


Fig. 1c

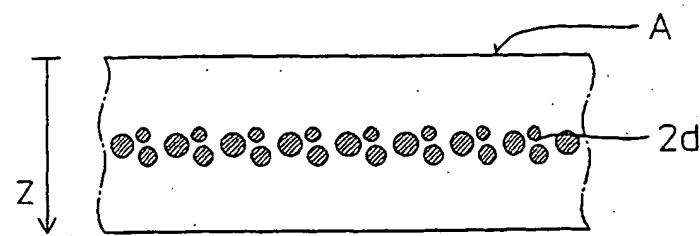


Fig. 1d

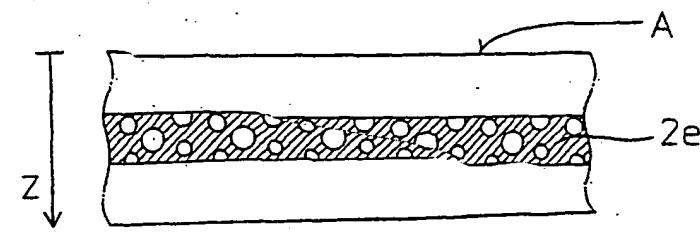


Fig. 1e

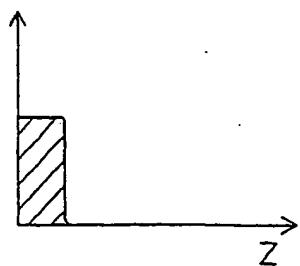


Fig. 2a

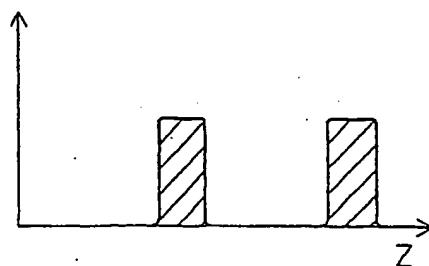


Fig. 2b

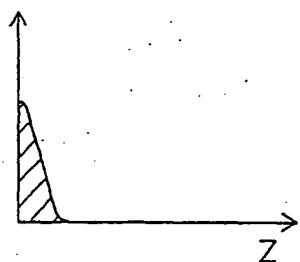


Fig. 3a

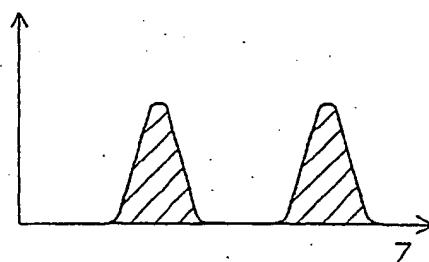


Fig. 3b

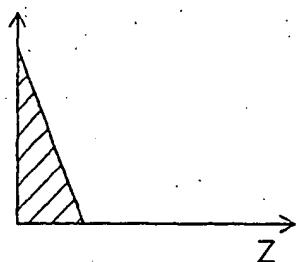


Fig. 4a

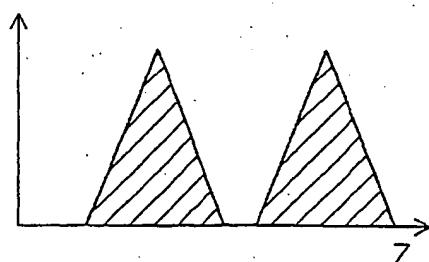


Fig. 4b

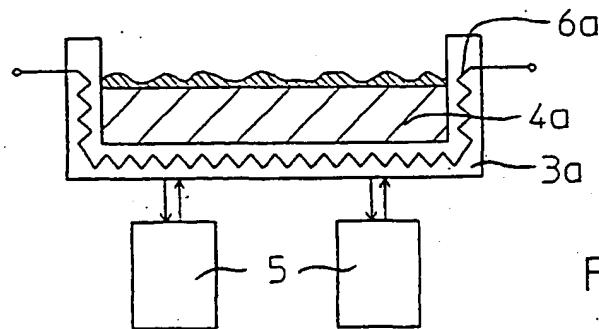


Fig. 5a

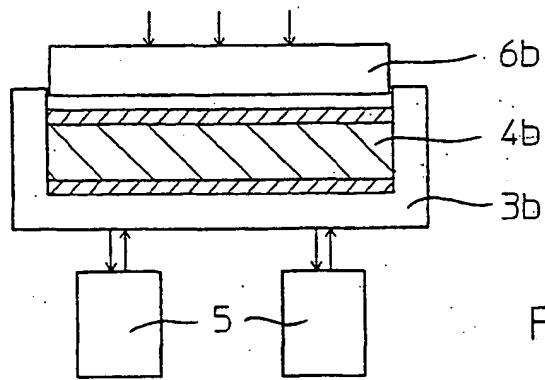


Fig. 5b

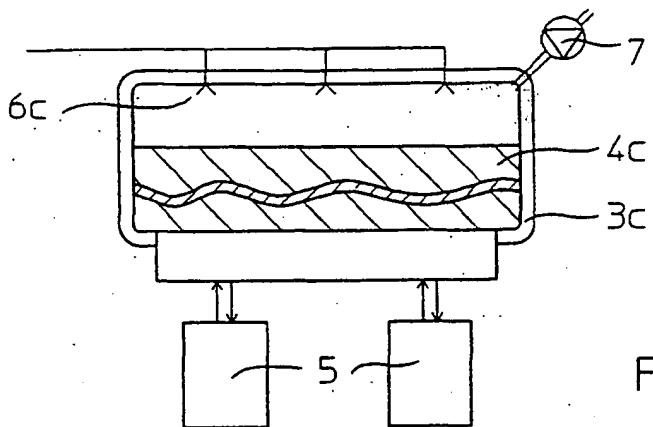


Fig. 5c

ORIGINAL  
NO MARGINALIA